ABÍLIO NEVES GARCIA

UMA RADIOGRAFIA DO DESENVOLVIMENTO DE VEÍCULOS LANÇADORES DE SATÉLITES NO INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO (IAE)

Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia apresentada ao Departamento de Estudos da Escola Superior de Guerra como requisito à obtenção do diploma do Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia.

Orientador: Coronel Engenheiro (R1) Carlos Alberto Gonçalves de Araújo.

Rio de Janeiro

2019

©2019ESG

Este trabalho, nos termos de legislação que resguarda os direitos autorais, é considerado propriedade da ESCOLA SUPERIOR DE GUERRA (ESG). É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que sem propósitos comerciais e que seja feita a referência bibliográfica completa. Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e não expressam qualquer orientação institucional da ESG.

_____
Assinatura do autor

Biblioteca General Cordeiro de Farias

Garcia, Abílio Neves
Uma Radiografia do Desenvolvimento de Veículos Lançadores de Satélites no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) / Coronel Engenheiro Abílio Neves Garcia - Rio de Janeiro: ESG, 2019.

52 f.: il.

Orientador: Coronel Engenheiro (R1) Carlos Alberto Gonçalves de Araújo.
Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia apresentada ao Departamento de Estudos da Escola Superior de Guerra como requisito à obtenção do diploma do Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia (CAEPE), 2019.

1.Veículos de Lançamento (Astronáutica). 2.Inovações tecnológicas. 3.Gestão tecnológica. 4.Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). 5.Veículo Lançador de Microssatélites (VLM-1). I. Título.

CDD – 358.407

À minha querida Família, pelo estímulo, apreço e apoio quanto às decisões que tomei ao longo do meu caminho.

AGRADECIMENTO

A Deus Todo Poderoso e Misericordioso, agradeço a sua benevolência e a sua proteção ao seu humilde filho.

À minha querida mulher Celina e aos meus filhos amados Victor e Marjorie pelo estímulo, apreço e apoio em todas as decisões que tomei ao longo do Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia.

Aos meus inestimáveis Paulo Miscow, Aparecida Miscow e Alexandre Roma pelo incentivo incondicional e amizade de irmãos.

Ao meu orientador, Coronel Engenheiro Carlos Alberto, pela orientação, confiança e direcionamento.

Ao Comando, ao Corpo Permanente, Oficiais e Servidores da ESG, pelo ambiente respeitoso, cortês e acolhedor proporcionado ao longo do ano de 2019.

Aos amigos e estagiários da “Turma ESG 70 anos - Pátria Amada Brasil”, pela fraternidade, convívio salutar, experiências compartilhadas e respeito.

“A soberania e autonomia de um país estão proporcionalmente relacionadas à sua capacidade de desenvolvimento tecnológico. A tecnologia espacial é, sem dúvida, a de maior amplitude nesse cenário”. (PNAE, 2012-2021).

RESUMO

A Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) é um programa integrado que visa à especificação, o projeto, o desenvolvimento, a construção e a operação de satélites de fabricação nacional, colocados em órbita por um veículo lançador (veículo de acesso ao espaço) nacional, lançados de um centro de lançamento situado em território brasileiro. Neste contexto, são de responsabilidade do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) as atividades relativas ao desenvolvimento de veículos lançadores. O objetivo do presente trabalho é o de investigar os pontos fracos que devem ser enfrentados para a consecução do desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites, limitando-se à identificação das tecnologias críticas a serem dominadas, às correspondentes necessidades de Recursos Humanos e de recursos financeiros no contexto do Programa Espacial Brasileiro (PEB). Para o desenvolvimento de um veículo lançador de satélites nacional, a análise dos resultados indicou que: a) o IAE necessita dominar um total de 44 tecnologias críticas, sendo 09 na área de Propulsão, 13 na área de Eletrônica, 10 na área de Sistemas Espaciais, 02 na área de Materiais, 05 na área de Química e 05 na área de Integração e Ensaios. Cada uma dessas tecnologias foi priorizada, em suas respectivas áreas do conhecimento, a fim de possibilitar a tomada de decisões por parte do agente Diretor; b) a necessidade mínima de recursos financeiros para o desenvolvimento das tecnologias críticas supracitadas é da ordem de US$ 142 milhões (dólares americanos), contudo, verificou-se que o histórico de investimentos, nos últimos 12 anos, tem-se mantido, tipicamente, com valores aportados inferiores a 20% do montante total planejado por ano; e c) a necessidade de Recursos Humanos especializados deficitários no quadro de funcionários do IAE representa um montante total de 290 Servidores Civis e/ou Militares, sendo 145 na área de Propulsão, 46 na área de Eletrônica, 30 na área de Sistemas Espaciais, 12 na área de Materiais, 19 na área de Química e 38 na área de Integração e Ensaios. Constatou-se, também, que nos quadros de funcionários do IAE existem 614 cargos vagos de Servidores Civis e que estes poderiam ser preenchidos pela realização de concursos públicos. Finalmente, o presente trabalho conclui que para o Brasil ser um país soberano no domínio das tecnologias da área espacial, o PEB deve se tornar um Programa de Estado que não sofra alterações ao bel das mudanças oriundas das alternâncias de Governo.

Palavras-chave: Veículos de Lançamento (Astronáutica), Inovações Tecnológicas, Gestão Tecnológica, Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Veículo Lançador de Microssatélites (VLM-1).

ABSTRACT

The Brazilian Complete Space Mission (MECB) is an integrated program that aims the specification, design, development, construction and operation of nationally manufactured satellites, placed in orbit by a national launcher, launched from a launching center located in Brazilian territory. In such context, the Institute of Aeronautics and Space (IAE) is responsible for the activities to develop launching vehicles. The objective of this work is to investigate the weaknesses that must be faced in order to achieve the development of a microsatellite launch vehicle, and the scope is to identify the critical technologies to be developed and the corresponding Human Resources and financial resources needs in the context of the Brazilian Space Program (PEB). For the development of a national satellite launch vehicle, the analysis of the results indicated that: a) the IAE needs to develop a total of 44 critical technologies, 09 in Propulsion field, 13 in Electronics field, 10 in Space Systems field, 02 in Materials field, 05 in Chemistry field and 05 in Integration and Testing field. Each of these technologies has been prioritized in their respective fields of knowledge to enable decision-making by the managing agent; b) the minimum need for financial resources is around US $ 142 million (US dollars), however, it has been found that the investment history over the last 12 years has typically remained below 20% of total planned amount per year; and c) the need for specialized human resources currently deficient in IAE staff represents a total amount of 290 Civilian and/or Military government employees, 145 in Propulsion field, 46 in Electronics field, 30 in Space Systems field, 12 in Materials field, 19 in Chemistry field and 38 in Integration and Testing field. It was also found that in IAE staff there are 614 vacant positions for Civilian government employees and that these vacant positions could be filled up by holding public tenders. Finally, the current work concludes that for Brazil to be a sovereign country in the field of space technologies, the PEB must become a State Program that does not undergoes to changes due to changes arising from Government alternations.
Keywords*: Launch Vehicles (Astronautics), Technological Innovations, Technological Management, Institute of Aeronautics and Space (IAE), Microsatellite Launch Vehicle (VLM-1).*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 3.1	Estrutura do PNAE	18
FIGURA 3.2	Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais	19
FIGURA 3.3	Família de Veículos de Sondagem Brasileiros	21
FIGURA 3.4	Configuração do VLS-1	22
FIGURA 3.5	Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE)	24
FIGURA 3.6	Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais	24
FIGURA 3.7	Desenvolvimento Incremental do VLM-1 a partir do VS-50	26
FIGURA 3.8	Ilustração do Veículo Suborbital VS-50	27
FIGURA 3.9	Ilustração do Veículo Lançador de Microssatélites	27
FIGURA 3.10	Divisão de Tarefas entre o IAE e o DLR	28
FIGURA 3.11	Motor S50	29
FIGURA 3.12	Mercado de cargas úteis espaciais de 50 a 200 kg	29
FIGURA 4.1	Definição de “Tecnologia Crítica” adotada pelo IAE	31
FIGURA 4.2	Disciplinas para desenvolver um veículo lançador de satélites	32
FIGURA 5.1	Evolução dos recursos financeiros no IAE (2007-2017)	38
FIGURA 5.2	Recursos financeiros recebidos pelo IAE em 2018	38
FIGURA 5.3	Evolução do RH no IAE (2009-2018)	39
FIGURA 5.4	Divisão do efetivo do IAE ao final do ano de 2018	39
FIGURA 5.5	Cargos vagos de Servidores Civis no IAE em 2018	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 Conceitos chaves citados por Servidores e Militares do IAE 33

TABELA 4.2 Áreas com tecnologias críticas a serem desenvolvidas no IAE 34

TABELA 4.3 Tecnologias críticas priorizadas na área de Propulsão 34

TABELA 4.4 Tecnologias críticas priorizadas na área de Eletrônica 35

TABELA 4.5 Tecnologias críticas priorizadas na área de Sistemas Espaciais 35

TABELA 4.6 Tecnologias críticas priorizadas na área de Materiais 35

TABELA 4.7 Tecnologias críticas priorizadas na área de Química 35

TABELA 4.8 Tecnologias críticas priorizadas na área de Integração e Ensaios 36

TABELA 5.1 Programação dos investimentos da AEB (milhões de reais) 37

TABELA 5.2 Necessidade de recursos financeiros e RH para Propulsão 40

TABELA 5.3 Necessidade de recursos financeiros e RH para Eletrônica 41

TABELA 5.4 Necessidade de recursos financeiros e RH p/ Sistemas Espaciais 42

TABELA 5.5 Necessidade de recursos financeiros e RH para Materiais 42

TABELA 5.6 Necessidade de recursos financeiros e RH para Química 42

TABELA 5.7 Necessidade de recursos financeiros/RH p/ Integração e Ensaios 43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEB	Agência Espacial Brasileira
BID	Base Industrial de Defesa
CBERS	Satélite de Sensoriamento Remoto
CF-88	Constituição Federal de 1988
CLA	Centro de Lançamento de Alcântara
CLBI	Centro de Lançamento da Barreira do Inferno
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DLR	Centro Aeroespacial Alemão
DMS	Dispositivo Mecânico de Segurança
END	Estratégia Nacional de Defesa
ESG	Escola Superior de Guerra
FAB	Força Aérea Brasileira
GETEPE	Grupo Executivo de Trabalhos de Estudos de Projetos Espaciais
GOCNAE	Grupo Organizador da Comissão Nacional de Atividades Espaciais
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MD	Ministério da Defesa
MECB	Missão Espacial Completa Brasileira
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
PEB	Programa Espacial Brasileiro
PEMAER	Plano Estratégico Militar da Aeronáutica
PESE	Programa Estratégico de Sistemas Espaciais
PNAE	Programa Nacional de Atividades Espaciais
PND	Política Nacional de Defesa
PNDAE	Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais
SCD	Satélite de Coleta de Dados Ambientais
SINDAE	Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais
VLM	Veículo Lançador de Microssatélites
VLM-1	Veículo Lançador de Microssatélites

VLS	Veículo Lançador de Satélites
VLS-1	Veículo Lançador de Satélites

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**13**
1.1	PROBLEMA	13
1.2	OBJETIVO FINAL	14
1.3	OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS	14
1.4	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	14
1.5	RELEVÂNCIA DO ESTUDO	15
1.6	METODOLOGIA	16
2	**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**	**16**
3	**PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO**	**18**
3.1	VEÍCULOS LANÇADORES NACIONAIS	19
3.2	VEÍCULO LANÇADOR DE MICROSSATÉLITES	24
4	**IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS CRÍTICAS**	**30**
5	**IDENTIFICAÇÃO DOS RECURSOS HUMANOS E FINANCEIROS**	**36**
6	**ANÁLISE DOS RESULTADOS**	**43**
7	**CONCLUSÕES**	**48**
	REFERÊNCIAS	**51**

1 INTRODUÇÃO

A Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) é um programa integrado que visa a especificação, o projeto, o desenvolvimento, a construção e a operação de satélites de fabricação nacional, a serem colocados em órbitas por um veículo lançador (veículo de acesso ao espaço) nacional e lançado de um centro de lançamento situado em território brasileiro. No contexto da MECB, cabem ao Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) as atividades relativas ao desenvolvimento de veículos lançadores. O presente trabalho pretende apresentar e discutir os atuais óbices que ameaçam o desenvolvimento de veículos lançadores, em especial o de um veículo lançador de microssatélites, sugerindo as ações necessárias para eliminação dos óbices existentes.

Para tal, esta monografia está estruturada da seguinte forma: No Capítulo 1 será enunciado o problema a ser respondido, são apresentados o objetivo final e os intermediários, a delimitação (escopo), a relevância e a metodologia desta pesquisa. No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica através dos documentos legais, estudos e publicações que compõem a base deste trabalho. No Capítulo 3 é apresentada uma síntese do Programa Espacial Brasileiro, um histórico dos veículos lançadores nacionais e o projeto do Veículo Lançador de Microssatélites. No Capítulo 4 são identificadas as tecnologias críticas que devem ser dominadas para a consecução do veículo supracitado. No Capítulo 5 são relacionadas as necessidades de recursos humanos e de recursos financeiros que devem ser atendidas para o desenvolvimento das tecnologias elencadas no Capítulo 4. No Capítulo 6 é feita a análise dos resultados apresentados nos Capítulos 4 e 5. Por fim, as conclusões são expostas no Capítulo 7.

1.1 PROBLEMA

Quais são os pontos fracos a serem enfrentados para a consecução do desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites (veículo de acesso ao espaço) no contexto do Programa Espacial Brasileiro (PEB)?

1.2 OBJETIVO FINAL

Investigar os pontos fracos que devem ser enfrentados para a consecução do desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites no contexto do Programa Espacial Brasileiro.

1.3 OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS

a) Identificar e priorizar as tecnologias críticas a serem dominadas, pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), para o desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites nacional.

b) Identificar as necessidades de Recursos Humanos especializados, por área do conhecimento, no âmbito do IAE, para a consecução do desenvolvimento das tecnologias críticas que compõem um veículo lançador de microssatélites.

c) Identificar as necessidades de recursos financeiros, no âmbito do IAE, para a consecução de cada tecnologia crítica que permita o desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites.

d) Analisar as informações identificadas nos objetivos intermediários de “a)” a “c)” para responder o objetivo final e, consequentemente, responder o “problema” do presente projeto de pesquisa.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) prevê o desenvolvimento de três frentes na área espacial: satélites, veículos lançadores e centros de lançamento.

O presente trabalho ficará restrito ao desenvolvimento de veículos lançadores, mais especificamente, ao desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites, no âmbito do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE).

Dentro dos aspectos necessários ao desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites, diversas áreas do conhecimento e da administração devem ser implementadas. Podemos citar como exemplos dessas áreas os processos de governança, os programas de capacitação de Recursos Humanos, a instalação de infraestrutura laboratorial adequada, a prospecção tecnológica, dentre outras. Neste contexto, o presente trabalho limitar-se-á a abordagem das tecnologias

críticas a serem dominadas para o desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites nacional, das respectivas necessidades de Recursos Humanos e de recursos financeiros para consecução das tecnologias críticas supracitadas.

As limitações acima descritas foram estabelecidas levando-se em consideração a disponibilidade de fontes de consulta, disponíveis na literatura aberta, para a obtenção de informações que possibilitassem a consecução deste projeto de trabalho.

1.5 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Considerando a Expressão Militar do Poder Nacional, a Força Aérea Brasileira (FAB) insere-se neste contexto, dentre outros, contribuindo com o desenvolvimento nacional através do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) que tem por missão: “Desenvolver soluções científico-tecnológicas no campo do Poder Aeroespacial, a fim de contribuir para a manutenção da soberania do espaço aéreo e a integração nacional.” Dentro da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), o DCTA é responsável por desenvolver e fabricar veículos lançadores (veículos de acesso ao espaço) e de manter centros que possibilitem o lançamento desses veículos. O presente trabalho pretende abordar questões atuais relativas ao desenvolvimento do veículo lançador de microssatélites estando, portanto, inserido no contexto do desenvolvimento nacional, especificamente no campo do desenvolvimento aeroespacial. É notório que a indústria espacial mundial movimenta bilhões de dólares por ano através da comercialização de seus serviços e produtos, gerando emprego e renda para os países que dominam as tecnologias espaciais, dentre estas, a da fabricação de veículos lançadores de satélites. Para que o Brasil venha a se inserir nesse seleto clube de países, o domínio nacional do desenvolvimento e da fabricação de veículos de acesso ao espaço, tal como o veículo lançador de microssatélites, é primordial. A relevância do presente trabalho, no âmbito da Escola Superior de Guerra (ESG), no contexto do desenvolvimento nacional, recai na abordagem proposta a qual pretende identificar e discutir os atuais pontos fracos que ameaçam o desenvolvimento de veículos de lançadores, sugerindo as ações necessárias para eliminação dos óbices existentes e, portanto, contribuindo para a consecução do Programa Espacial Brasileiro (PEB) e, em última instância, para a MECB.

1.6 METODOLOGIA

Para responder os “objetivos intermediários”, o “objetivo final” e, consequentemente, o “problema” do presente trabalho, o autor pretende realizar, exclusivamente, uma revisão da literatura utilizando apenas publicações de caráter ostensivo. Não será necessária a realização de pesquisa de campo como a aplicação de questionários ou procedimentos similares. O problema da pesquisa e o seu objetivo final foram idealizados e delimitados pelo autor com base em seu conhecimento e experiência profissional, e com prévio conhecimento da viabilidade de obtenção dos dados e informações necessários na literatura aberta.

Quanto à delimitação do presente trabalho, serão abordadas as tecnologias críticas a serem dominadas para o desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites nacional, as necessidades de Recursos Humanos e de recursos financeiros para consecução das tecnologias supracitadas. Neste contexto, a fundamentação teórica, apresentada no Capítulo 2, será a base principal e o ponto de partida para a obtenção de dados e informações necessárias à consecução do presente trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os documentos que suportam ações e dão amparo legal ao desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro (PEB), no âmbito da Força Aérea Brasileira (FAB), em especial no âmbito do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), são representados pela Constituição Federal de 1988 (CF-88), pela Política Nacional de Defesa (PND), pela Estratégia Nacional de Defesa (END), pelo Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PEMAER) e, em última instância, pelo Regimento Interno do Instituto de Aeronáutica e Espaço (RICA 21-93).

Com base na CF-88, na PND e na END, o PEMAER estabelece claramente as diretrizes para o desenvolvimento da área espacial no âmbito do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), Órgão ao qual se subordina o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). Por sua vez, o RICA 21-93 estabelece a responsabilidade do IAE no tocante à execução das atividades relativas ao desenvolvimento de veículos lançadores. Tal responsabilidade está alinhada com o

preconizado no Programa Nacional de Atividades Espaciais 2012-2021 (PNAE, 2012-2021) da Agência Espacial Brasileira (AEB), autarquia do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). A própria AEB (2019) é uma das fontes de fundamentação deste trabalho, pois, é responsável pela formulação da Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE) e do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE).

Dentre os estudos realizados na Escola Superior de Guerra (ESG), no âmbito do PEB, ressaltam-se HIRASAWA (2018), LUCCA (2016) e SANTANA JÚNIOR (2015). O presente trabalho complementa os estudos anteriores quando aborda as tecnologias críticas a serem desenvolvidas para a consecução de um veículo lançador de microssatélites nacional.

No contexto das tecnologias críticas a serem desenvolvidas para a consecução de um veículo de acesso ao espaço, o presente trabalho se alicerça basicamente em SALGADO (2016) e em RT/GT-06 (2018). Em sua tese, SALGADO (2016) realiza um levantamento das tecnologias críticas de veículos lançadores cuja análise resultou na construção de um mapa tecnológico (*roadmap*) e em uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão. A ferramenta desenvolvida por SALGADO (2016) é uma multimetodologia composta de um método de estruturação de problema (*Problem Structuring Methods - PSM*), o método Delphi e um método de apoio multicritério à decisão. Essa metodologia utiliza o *roadmap* tecnológico apresentado para orientar as ações de investimentos financeiros, de recursos humanos e de infraestrutura focados no desenvolvimento de veículos lançadores. Por sua vez, O RT/GT-06 (2018) analisa alternativas de desenvolvimento conjunto de veículos lançadores com o propósito de mitigar riscos, promover sinergia de atividades e dividir os custos de desenvolvimento. Para realizar esta análise o RT/GT-06 (2018) levanta, dentre outros aspectos, as dificuldades e os riscos tecnológicos encontrados no desenvolvimento de uma família de veículos lançadores nacionais.

Quanto à abordagem relativa às necessidades de Recursos Humanos e de recursos financeiros, o presente trabalho norteia-se pelo Relatório de Gestão 2018 da Agência Espacial Brasileira (AEB, 2018); pelos Relatórios de Atividades do Instituto de Aeronáutica e Espaço de 2016-2017 (RA/IAE-2016/2017) e de 2018 (RA/IAE-2018); e por OTERO (2018a,b).

Os documentos legais, estudos e publicações supracitados formam a base

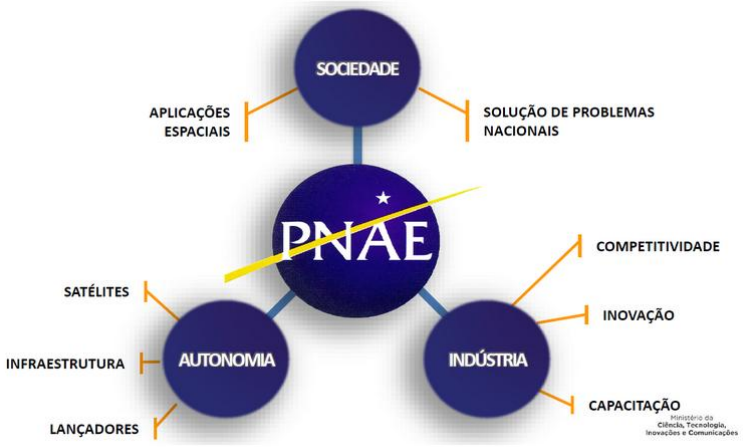
fundamental que alicerça este trabalho. De igual forma, amparam o tema proposto e sua limitação quanto à abordagem do desenvolvimento de veículos lançadores, ou veículos de acesso ao espaço, no âmbito do IAE.

3 PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

O Programa Espacial Brasileiro (PEB) é uma expressão genérica que se refere a todas as ações e iniciativas relativas à pesquisa e ao desenvolvimento das tecnologias que pretendem dotar o Brasil de veículos lançadores, de produção de satélites, de centros de lançamento para acesso ao espaço e da exploração espacial em geral no País. Fundada em 1994, a Agência Espacial Brasileira (AEB), autarquia vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), é a instituição responsável por formular, coordenar e executar o Programa Espacial Brasileiro (AEB, 2019).

No âmbito do PEB, foi estabelecida a Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE), responsável por estabelecer os objetivos e as diretrizes para os programas e os projetos do PEB. Neste contexto, existe o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) que funciona como instrumento de planejamento da política. A Figura 3.1 ilustra a estrutura do PNAE que tem por base três focos estratégicos: a sociedade, a autonomia das tecnologias nacionais e a indústria.

Figura 3.1 – Estrutura do PNAE



Fonte: AEB (2019)

A organização e a execução das atividades do PEB são definidas pelo Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (SINDAE), conforme ilustra a Figura 3.2. O SINDAE estabelece a AEB como órgão central das atividades espaciais desenvolvidas no País. Faz parte do SINDAE o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), do Comando da Aeronáutica (COMAER), do Ministério da Defesa (MD), responsável por veículos lançadores e pelos centros de lançamento; o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do MCTIC, responsável pela área de satélites; o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) que, no âmbito do DCTA, é responsável por veículos lançadores; a indústria, composta por indústrias do setor aeroespacial, inclusive aquelas pertencentes à Base Industrial de Defesa (BID); o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI) e o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), organizações militares subordinadas ao DCTA, responsáveis pelos centros de lançamento. A estrutura do SINDAE segue, portanto, o modelo de tripla-hélice que contempla o desenvolvimento do setor espacial observando a tríade governo, indústria e universidade.

Figura 3.2 – Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais

Fonte: AEB (2019)

3.1 VEÍCULOS LANÇADORES NACIONAIS

Esta seção apresenta os veículos lançadores nacionais já desenvolvidos e lançados pelo Brasil. Todos esses veículos são antecessores do atual Veículo

Lançador de Microssatélites (VLM), que ora encontra-se em desenvolvimento pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). Ainda em relação a esses engenhos espaciais já desenvolvidos, serão apresentados algumas de suas características, os ganhos tecnológicos obtidos e algumas informações históricas no âmbito do Programa Espacial Brasileiro (PEB). Uma versão detalhada do histórico do desenvolvimento dos veículos lançadores nacionais (veículos de acesso ao espaço), bem como um histórico detalhado do próprio PEB, incluindo o desenvolvimento de satélites nacionais, a implantação dos centros de lançamentos e diversas informações técnicas podem ser encontradas no RT/GT-06 (2018) e em AEB (2019). Essas duas referências bibliográficas apresentam a base das informações aqui apresentadas.

As atividades espaciais no Brasil iniciam-se com a criação do Grupo Organizador da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE), em 1961. Em 1964, foi criado o Grupo Executivo de Trabalhos de Estudos de Projetos Espaciais (GETEPE) que, futuramente, iria se transformar no atual Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) (AEB, 2019). Um dos principais objetivos do GETEPE foi o de estabelecer um programa de foguetes de sondagem. Os foguetes de sondagem são utilizados para missões suborbitais de exploração do espaço (veículos lançadores suborbitais), capazes de lançar cargas úteis compostas por experimentos científicos e tecnológicos (Agência Espacial Brasileira, 2019).

A concepção inicial da família de veículos de sondagem foi designada pelo nome SONDA e foi constituída de quatro modelos: os foguetes SONDA I, SONDA II, SONDA III e SONDA IV. O projeto da família SONDA iniciou-se em 1965, tendo ocorrido o primeiro lançamento do foguete SONDA I em 1967. Além da família SONDA, também foram desenvolvidos os veículos VS-30, VS-30/Orion, VSB-30, o VS-40 e, parcialmente, o VS-43.

Ressalta-se que o desenvolvimento do veículo VS-43 não foi concluído, porém, o desenvolvimento do seu motor foguete (propulsor), denominado S-43, foi terminado e veio a compor a futura configuração do Veículo Lançador de Satélites (VLS). A família de veículos de sondagem é apresentada na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Família de Veículos de Sondagem Brasileiros

Fonte: AEB (2019)

Ao todo foram lançados 225 foguetes SONDA I, entre 1967 e 1977; 61 foguetes SONDA II, entre 1969 e 1996; 31 foguetes SONDA III, entre 1976 a 2002; 12 foguetes VS-30, entre 1997 e 2016; 7 foguetes VS-30/Orion; 23 foguetes VSB-30, entre 2004 e 2016; 4 foguetes SONDA IV, entre 1984 e 1989; 3 foguetes VS-40, entre 1992 e 2012 (AEB, 2019).

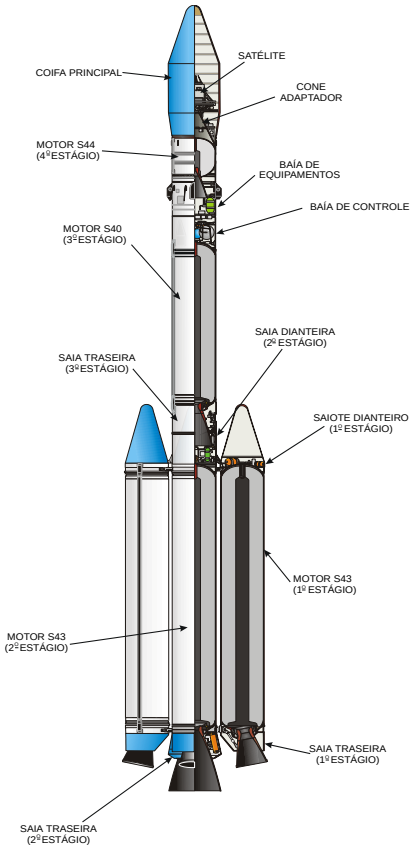
A estratégia adotada com os foguetes de sondagem foi estruturada na evolução contínua e consistente baseada no aprendizado adquirido no projeto precedente para o planejamento do desenvolvimento do projeto seguinte, acrescentando-se gradativamente novas tecnologias e mitigando-se os riscos relacionados. Desta forma, buscaram-se sucessivos ganhos em capacitação para projeto, produção e lançamento de foguetes. Os projetos desenvolvidos visavam o estabelecimento de tecnologias estruturantes, tais como: produção de tubos de alumínio sem costura, fabricação de componentes diversos, infraestrutura para a produção de propelentes sólidos e de proteções térmicas, metodologia de trabalho de engenharia de sistemas para projetos complexos, sistemas de controle, eletrônica embarcada e desenvolvimento de aços de alta resistência (RT/GT-06, 2018).

De acordo com o RT/GT-06 (2018), em novembro de 1979, durante o 2º Seminário de Atividades Espaciais, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o atual Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) apresentaram, em conjunto, a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). Nos termos da MECB, coube ao IAE

o desenvolvimento do veículo lançador (futuramente denominado VLS) e a infraestrutura de lançamento, resultando no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Atualmente o CLA é subordinado ao DCTA. Ao INPE coube a responsabilidade do desenvolvimento de dois satélites de coleta de dados ambientais (SCD) e outros dois satélites de sensoriamento remoto (CBERS).

Segundo o RT/GT-06 (2018), o primeiro Veículo Lançador de Satélites desenvolvido no Brasil foi denominado VLS-1 (Figura 3.4). O VLS-1 é um veículo da classe dos lançadores de pequeno porte, composto de quatro estágios de propulsão, utilizando propelente sólido em todos os estágios. Quando montado, o VLS-1 possui 19,4 metros de altura, com uma massa de decolagem de 49,7 toneladas. O desenvolvimento do VLS-1 foi baseado nos 25 anos de experiência acumulada pelo IAE. Ao longo do desenvolvimento do projeto VLS-1, foram construídos três protótipos: VLS-1 V-01 (Operação Brasil), VLS-1 V-02 (Operação Almenara) e o VLS-1 V-03 (Operação São Luís).

Figura 3.4 – Configuração do VLS-1



Fonte: RT/GT-06 (2018)

Conforme AEB (2019), o lançamento do VLS-1 V-01, em 1997, falhou no início da decolagem, quando um dos propulsores do primeiro estágio não acendeu, obrigando à destruição do protótipo. A investigação da falha levou à correção do dispositivo mecânico de segurança (DMS), responsável pelo acendimento dos propulsores de primeiro estágio. No segundo lançamento do VLS-1 V-02, em 1999, verificou-se que as correções realizadas no DMS foram um sucesso, porém, o propulsor de segundo estágio falhou e resultou na explosão do veículo. A investigação do acidente levou a modificações no projeto interno do propulsor, no envoltório do propulsor e em suas proteções e interfaces. O terceiro lançamento do VLS-1 V-03, em 2003, não chegou a ocorrer, pois, o veículo explodiu em solo após o acendimento intempestivo de um dos motores do primeiro estágio.

O acidente com o VLS-1 V-03 causou a morte de inúmeros técnicos e engenheiros do IAE e resultou em uma completa paralisação do projeto de veículos lançadores no País até o ano de 2009, ocasião em que se idealizou o Projeto do Veículo Lançador de Microssatélites (VLM).

Aos motivos da paralisação do Projeto VLS-1 também se deve acrescentar os constantes cortes no orçamento; contingenciamento e atrasos na liberação dos recursos financeiros; as limitações de Recursos Humanos qualificados por motivo de aposentadoria, sem uma política de reposição dos quadros técnicos; e a própria obsolescência de componentes e tecnologias empregadas no VLS-1.

Embora o Projeto VLS-1 tenha sido paralisado e não tenha obtido pleno êxito na conquista de todos os seus objetivos, paralisando-se à época o projeto de um veículo lançador de satélites nacional, o programa de veículos suborbitais nacionais obteve enorme sucesso, conforme atesta SALGADO (2016):

> “O sucesso dos veículos suborbitais brasileiros pode ser atestado pela operação dos foguetes das classes VSB-30, VS-30 e VS-40 pelo Programa Espacial Europeu. Após ter sido submetido a um processo formal de certificação perante a Agência Espacial Europeia (ESA) em 2005 e no Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI) em 2009, em que demonstrou o cumprimento integral de todas as exigências de desempenho e segurança, o VSB-30 já realizou mais de 20 voos transportando Cargas Úteis científicas para o Programa Europeu de Microgravidade, com um índice de sucesso de 100%, sendo o único produto do Programa Espacial Brasileiro exportado regularmente. Esses veículos voaram nos céus da Europa, a partir dos Centros de Lançamento de ESRANGE (Kiruna, Suécia) e de ANDOYA (Andenes, Noruega), transportando cargas úteis de alto valor científico.”

3.2 VEÍCULO LANÇADOR DE MICROSSATÉLITES

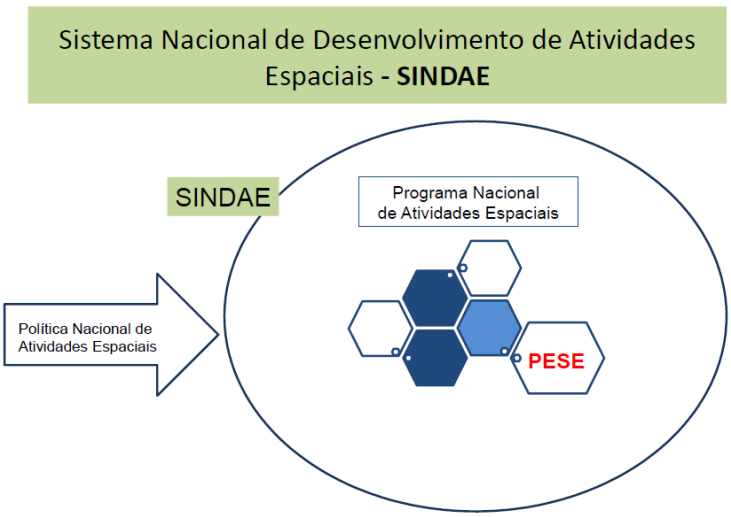
O Veículo Lançador de Microssatélites (VLM) se insere no contexto do Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) do Ministério da Defesa, conforme ilustrado na Figura 3.5. O PESE visualiza, dentre outros, o desenvolvimento de uma família de veículos lançadores iniciando-se pelo VLM.

No contexto do Programa Espacial Brasileiro (PEB), o PESE se insere dentro Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais (SINDAE), conforme ilustra a Figura 3.6.

Figura 3.5 – Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE)

Fonte: AGUIAR (2018)

Figura 3.6 – Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais


Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais - SINDAE
SINDAE
Programa Nacional de Atividades Espaciais
Política Nacional de Atividades Espaciais
PESE

Fonte: AGUIAR (2018)

O primeiro VLM a ser construído e lançado denomina-se VLM-1. De acordo com RT/GT-06 (2018), o VLM-1 é um lançador de satélites que terá a capacidade de colocar cargas úteis superiores a 30 kg em órbita equatorial baixa (órbitas *LEO* – *Low Equatorial Orbits*). Em 2009, o Projeto VLM-1 foi idealizado no Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) por solicitação do Centro Aeroespacial Alemão (*Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt* – DLR). O DLR solicitou uma parceria técnica com o DCTA para desenvolver um veículo lançador capaz de colocar em órbitas *LEO* pequenos experimentos científicos e/ou microssatélites, cujo escopo é descrito a seguir conforme o RT/GT-06 (2018):

> "Desenvolvimento de um veículo destinado ao lançamento de cargas úteis espaciais ou microssatélites (até 150 kg) em órbitas equatoriais, polares ou de reentrada, com três estágios a propelente sólido na sua configuração básica com o motor S50 de 10 toneladas de propelente e um estágio orbitalizador como motor S44. Outras configurações do veículo empregarão um quarto estágio em propelente sólido ou um quarto estágio em propelente líquido e uma versão tri-estágio com motor de apogeu em propelente líquido."

Em 2016, a Agência Espacial Brasileira (AEB) estabeleceu que as atividades no desenvolvimento de novos veículos lançadores deveriam observar as diretrizes de desenvolvimento incremental, com foco em confiabilidade e em pragmatismo. Essa filosofia de desenvolvimento incremental é a mesma já utilizada no desenvolvimento na família de veículos de sondagem, ilustrados na Figura 3.3, que parte do veículo mais simples em direção ao mais complexo com estágios de desenvolvimento intermediários.

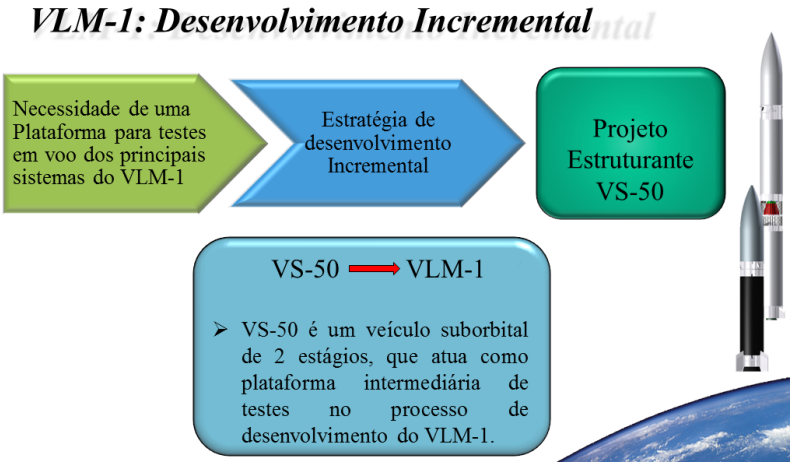
Seguindo as orientações da AEB quanto ao desenvolvimento incremental de veículos lançadores, e com o intuito de dar continuidade à parceria com o DLR, o IAE optou por desenvolver um veículo lançador suborbital mais simples e antecessor ao VLM-1. Esse veículo foi denominado VS-50 e a sua finalidade será a de testar tecnologias a serem empregadas no futuro VLM-1. O propulsor sólido (motor) do veículo VS-50 foi denominado S50. O motor S50 foi projetado pelo IAE e contou com a participação das empresas CENIC e AVIBRAS, ambas localizadas na cidade de São José dos Campos-SP. Atualmente o S50 está sendo fabricado pela empresa AVIBRAS.

O VS-50 terá como objetivo o teste em voo do motor S50 e de outros

subsistemas que serão empregados no futuro VLM-1, mitigando os riscos técnicos do projeto por seguir a metodologia de desenvolvimento incremental (Figura 3.7). Os principais subsistemas e manobras a serem testados pelo VS-50 são: o sistema de navegação inercial e o controle do veículo, as redes elétricas, o conjunto de atuadores da tubeira móvel, o processo de separação dos estágios do foguete, as manobras de basculamento e de ejeção da coifa do foguete e a injeção de carga útil em órbita.

A Figura 7.8 apresenta uma ilustração do VS-50. Além de qualificar em vôo o motor S50 e os principais sistemas do VLM-1, o VS-50 também irá testar a infra-estrutura do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) para o lançamento de veículos controlados. A previsão de lançamento do VS-50 foi estabelecida para dezembro de 2019, segundo ilustrado na Figura 3.5.

Figura 3.7 – Desenvolvimento Incremental do VLM-1 a partir do VS-50


VLM-1: Desenvolvimento Incremental
Necessidade de uma Plataforma para testes em voo dos principais sistemas do VLM-1
Estratégia de desenvolvimento Incremental
Projeto Estruturante VS-50
VS-50 ⟶ VLM-1
VS-50 é um veículo suborbital de 2 estágios, que atua como plataforma intermediária de testes no processo de desenvolvimento do VLM-1.

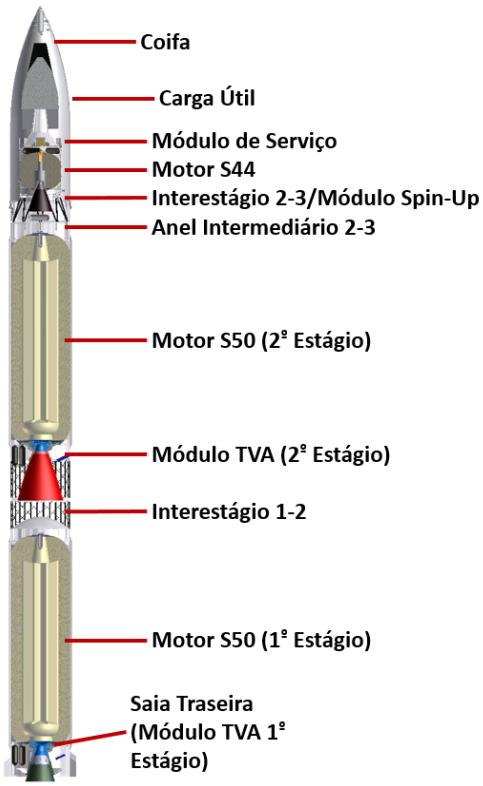
Fonte: OTERO (2018b)

Segundo RT GT-06 (2018), a atual configuração do VLM-1 (Figura 3.9) terá a capacidade de colocar cargas úteis superiores a 30 kg em órbita baixa equatorial (órbita circular, com inclinação de 3° e superior a 300 km de altitude). Trata-se de um projeto binacional (Brasil e Alemanha) que conta com a participação do DLR para mitigar os riscos tecnológicos e dividir os investimentos necessários à consecução do VS-50 e, consequentemente, do VLM-1. A Figura 3.10 ilustra a divisão de tarefas entre o IAE (Brasil) e o DLR (Alemanha) dos principias sistemas do VLM-1.

Figura 3.8 – Ilustração do Veículo Suborbital VS-50

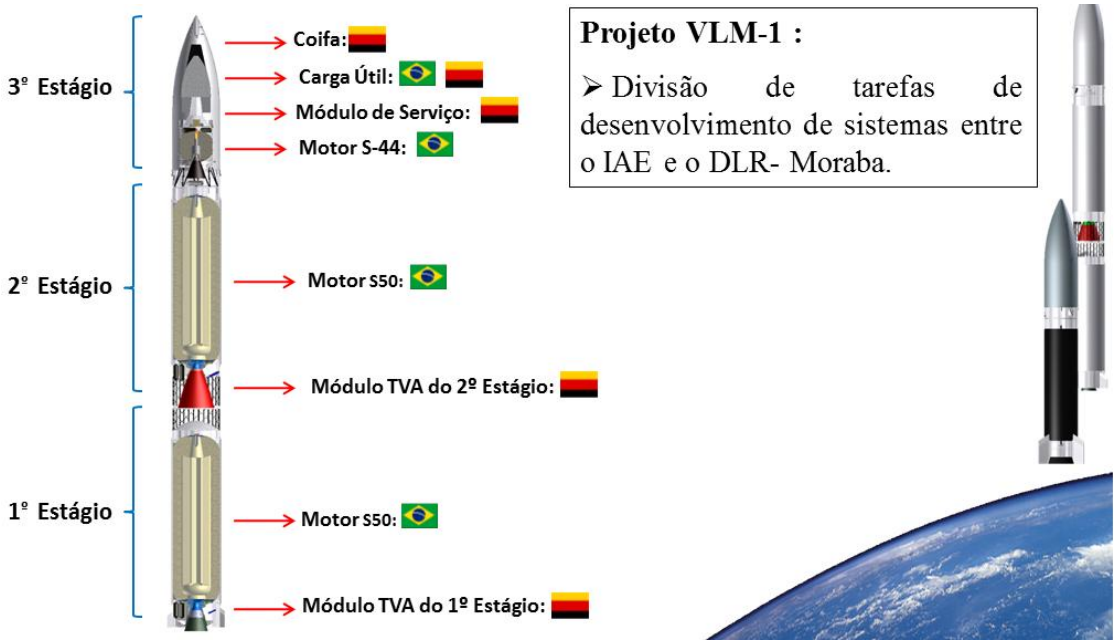
Fonte: OTERO (2018b)

Figura 3.9 – Ilustração do Veículo Lançador de Microssatélites



Fonte: OTERO (2018b)

Figura 3.10 – Divisão de Tarefas entre o IAE e o DLR



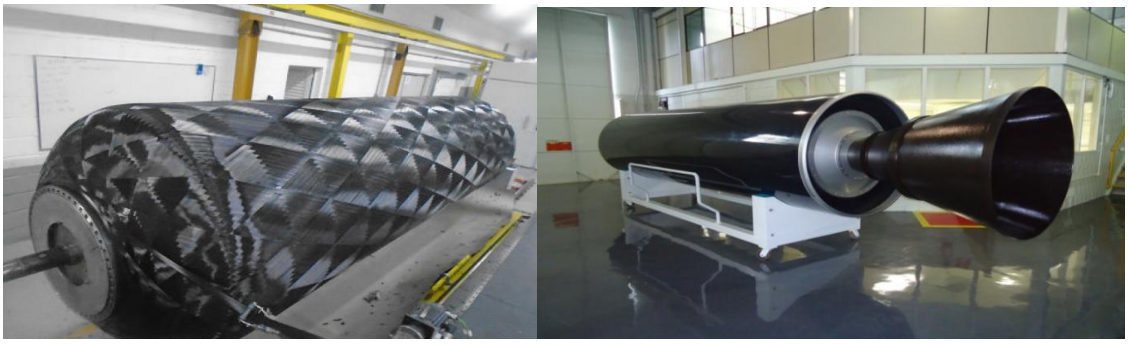
Fonte: OTERO (2018b)

Atualmente, O VLM-1 é o principal projeto em desenvolvimento no IAE. Para a consecução deste projeto, foram consideradas as seguintes premissas, conforme o RT/GT-06 (2018):

> "1. Atender às missões do PEB;
> 2. Utilizar sistemas já desenvolvidos ou em desenvolvimento (S50, S44 e outros sistemas);
> 3. Utilizar tecnologia de propulsão líquida;
> 4. Minimizar novos desenvolvimentos e saltos tecnológicos;
> 5. Promover o desenvolvimento incremental com pragmatismo;
> 6. Utilizar a infraestrutura atual do CLA e do IAE; e
> 7. Mobilizar a base industrial desde as fases iniciais do projeto."

Segundo OTERO (2018b), o principal subsistema brasileiro em desenvolvimento dos veículos VS-50 e VLM-1 é o motor S50 (Figura 3.11). Trata-se de um motor-foguete com o invólucro construído em material compósito, nunca produzido no hemisfério sul do planeta. Possui 5,0 m de comprimento e 1,46 m de diâmetro, 12,0 toneladas de propelente sólido, tempo de queima de 85,0 segundos e 550 kN de empuxo. O primeiro motor S50 foi bobinado pela AVIBRAS, em julho de 2018, e passou com sucesso pelos ensaios hidrostático e de ruptura, em outubro de 2018. O motor S50 integrará o primeiro estágio do VS-50 e o primeiro e segundo estágios do VLM-1.

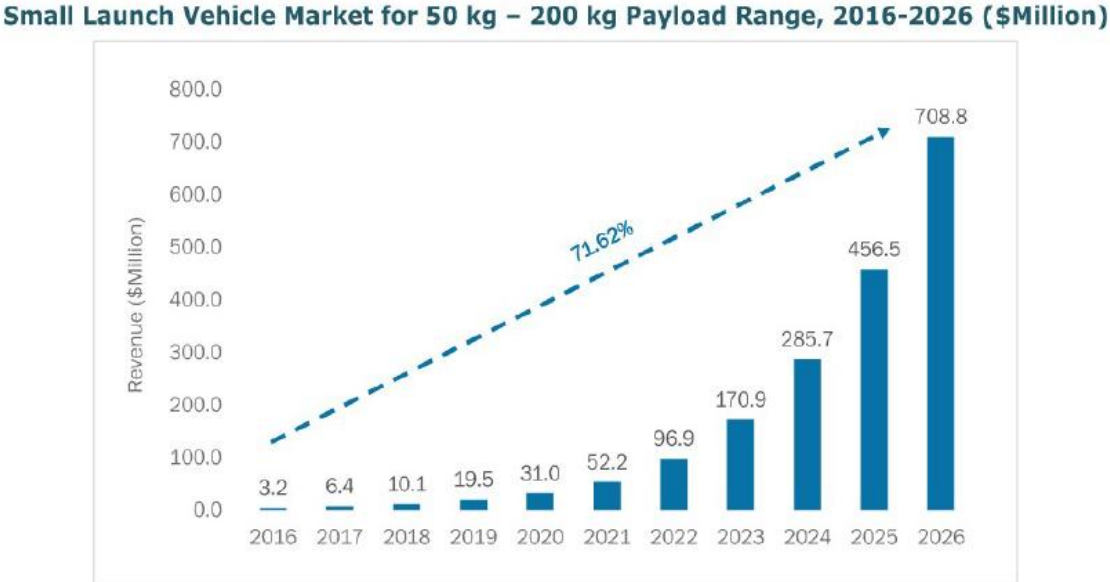
Figura 3.11 – Motor S50



Fonte: OTERO (2018b)

A decisão tomada pelo DCTA e pelo DLR, com o aval da AEB, em relação ao desenvolvimento do VLM-1, propiciará o desenvolvimento dos veículos lançadores subsequentes previstos no PESE (Figura 3.5). Essa decisão baseou-se no crescimento do mercado de pequenos satélites e de miniaturização das cargas espaciais menores que 200 kg, conforme ilustrado na Figura 3.12. Esse mercado crescente somente foi possível devido à miniaturização de componentes e sistemas espaciais, pelo aumento da popularidade dos microssatélites, nanossatélites e *cubesats* entre universidades, centros de pesquisa e setores ligados à indústria espacial (RT GT-06, 2018).

Figura 3.12 – Mercado de cargas úteis espaciais de 50 a 200 kg



Fonte: AGUIAR (2018)

Por fim, considerando a filosofia de desenvolvimento incremental de veículos

lançadores, cabe ressaltar que a consecução do VLM-1 dará início ao programa de desenvolvimento de veículos lançadores de maior porte denominados genericamente por VL-X (Figura 3.5). O Programa VL-X consiste no desenvolvimento e operação de um sistema lançador de satélites competitivo composto por um veículo básico a propelente sólido, denominado VL-X1 (Áquila 1), e seu sucessor com o último estágio a propulsão líquida, denominado VL-X2 (Áquila 2), além de segmentos de solo, rastreio e infraestrutura industrial associada.

4 IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS CRÍTICAS

O objetivo principal do presente trabalho é o de investigar os pontos fracos que devem ser enfrentados para a consecução do desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites no contexto do Programa Espacial Brasileiro.

Para atingir o objetivo supracitado, identificar as tecnologias críticas a serem dominadas, pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), para o desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites nacional representa um dos objetivos intermediários que possibilitará a consecução do objetivo principal dentro do escopo do trabalho proposto.

Apesar da atividade espacial no Brasil ter mais de 50 anos de história, existem serviços e produtos da área espacial que ainda não foram desenvolvidos no âmbito do Programa Espacial Brasileiro (PEB). Na busca por alcançar essas competências e acelerar o desenvolvimento de tecnologias críticas espaciais para atender tais necessidades, o Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação (MCTIC) destacou o Programa Espacial Brasileiro como prioritário para prover fatores portadores de futuro no contexto da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação PNAE (2012-2021). O Programa Espacial Brasileiro promove o progresso científico e tecnológico do país por meio da gestão integrada dos Institutos de Pesquisas, Universidades e Indústrias.

O domínio de tecnologias críticas de veículos lançadores no setor espacial é uma constante preocupação do IAE, do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) e do Ministério da Defesa (MD) no contexto do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE). O embargo e/ou a dificuldade de desenvolvimento e/ou aquisição dessas tecnologias ameaçam a curto, médio e longo prazo os projetos e programas espaciais do país.

A pergunta que se deve responder é o porquê dominar tecnologias críticas no campo espacial? O domínio de tecnologias críticas permite ao país superar barreiras erguidas por outros países que impedem o acesso ao conhecimento e à comercialização de importantes tecnologias espaciais, restrições que paralisam o desenvolvimento de nossos veículos lançadores, idealizados para fins pacíficos, porém, com aplicação dual na área de Defesa. Há que se dominarem as tecnologias difíceis de obtenção no mercado mundial, sujeitas a embargo por parte dos países desenvolvidos, indispensáveis ou relevantes para o desenvolvimento de veículos lançadores de satélites e que possam consolidar as competências nacionais, utilizar a infraestrutura laboratorial instalada, beneficiar a indústria nacional, bem como consolidar toda e qualquer iniciativa que venha a fortalecer os impulsos inovadores e geradores de riqueza no âmbito nacional.

A definição de tecnologia crítica adotada no presente trabalho, no que tange ao desenvolvimento de veículos lançadores de satélites, é aquela definida pelo IAE e apresentada na Figura 4.1 a seguir:

Figura 4.1 – Definição de “Tecnologia Crítica” adotada pelo IAE

> *Tecnologias Críticas são tecnologias necessárias para o desenvolvimento não dependente dos projetos e programas estabelecidos pelo Instituto. O seu domínio torna o país independente da importação destas tecnologias, cujo embargo já existe ou pode vir a existir no futuro. Consequentemente, dependem de áreas essenciais que fortalecem a capacidade industrial e de inovação para realização de seus projetos”.*
>
> *(IAE)*

Fonte: SALGADO (2016)

O trabalho de levantamento das tecnologias críticas passa pela identificação as áreas de conhecimentos estratégicos que integram os projetos espaciais. A Figura 4.2 mostra as disciplinas necessárias para desenvolver um veículo lançador de satélites, segundo PANTOJA e KASEMODEL (2011).

Figura 4.2 – Disciplinas para desenvolver um veículo lançador de satélites

Fonte: PANTOJA e KASEMODEL (2011)

Em seu trabalho, SALGADO (2016) conseguiu levantar, através de pesquisa de campo realizada junto aos servidores civis e militares do IAE, os conceitos que foram citados com maior frequência para a consecução do desenvolvimento de um veículo lançador de satélites. Esses conceitos foram denominados por “conceitos chaves” e considerados fundamentais para a continuidade do Programa Espacial, em especial no âmbito do IAE, a saber: a) aumentar capital humano; b) envolver as indústrias desde o início no projeto; c) possuir apoio efetivo do governo; d) formar um grupo no IAE para disseminar conhecimento; e) atender a tendência de redução do tamanho dos satélites; f) formar massa crítica de alto nível; g) realizar parcerias e transferências de tecnologias e h) dominar tecnologias críticas.

Porém, o que chama a atenção no trabalho de SALGADO (2016) foi o “conceito chave” mencionado com maior frequência na pesquisa de campo realizado: a necessidade de “dominar tecnologias críticas”, conforme ilustrado na Tabela 4.1, razão da escolha deste tema central na realização do presente trabalho.

Tabela 4.1 – Conceitos chaves citados por Servidores e Militares do IAE

Conceitos Chaves	**Frequência**
Dominar tecnologias críticas	7
Aumentar capital humano	6
Envolver as indústrias desde o início no projeto	5
Possuir apoio efetivo do governo	5
Formar um grupo no IAE para disseminar conhecimento	5
Atender a tendência de redução do tamanho dos satélites	4
Formar massa crítica de alto nível	4
Realizar parcerias e transferências de tecnologias	4

Fonte: SALGADO (2016)

Uma vez identificado o conceito chave de maior importância “dominar tecnologias críticas”, SALGADO (2016) passa a aplicar uma metodologia para identificar quais sejam essas tecnologias críticas, no âmbito do IAE. A metodologia aplicada por SALGADO (2016) é descrita a seguir e divide-se em três fases, a saber:

> “Fase 1 - estruturação de problemas constitui uma das etapas do processo de tomada de decisão que tem como objetivo estruturar assuntos, problemas e situações para os quais se buscam propostas de decisões. Para iniciar o processo de estruturação, é importante definir os especialistas envolvidos, para se obter suas visões sobre a situação do programa espacial dentro do Instituto e o que esperam no futuro. Propõe-se o desenvolvimento de uma representação gráfica para se mapear a opinião dos especialistas e identificar os conceitos chaves para elaboração de futuras estratégias. Na fase 2 é realizado um levantamento, seleção e priorização de tecnologias críticas. Inicialmente, é importante equalizar o entendimento do conceito de tecnologias críticas entre os participantes, para posteriormente elaborar o levantamento e a seleção das mesmas por área do conhecimento, através da promoção de entrevistas, reuniões, Workshops e fóruns de discussão com participação de especialistas e gestores. Depois de selecionadas, é proposta a priorização para planejar seu desenvolvimento, onde foram definidos e validados critérios para o julgamento. É importante que a Alta Gestão valide a lista priorizada de tecnologias críticas. Na fase 3 está proposta a construção do mapa tecnológico que permitirá uma visualização das metas a atingir no futuro, as tecnologias necessárias para se chegar até lá, integrando todos os aspectos relevantes, considerando a dimensão de tempo. Neste trabalho prospectam-se os projetos e programas espaciais planejados para o Instituto, as

> tecnologias priorizadas em cada área, sua aplicação nos projetos e programas, os recursos humanos, financeiros e físicos para o desenvolvimento das mesmas e os prazos estimados para seu desenvolvimento."

Seguindo a sua metodologia, SALGADO (2016) levantou as áreas de conhecimento do IAE que necessitam o desenvolvimento de tecnologias críticas, conforme apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Áreas com tecnologias críticas a serem desenvolvidas no IAE

Áreas Críticas
Propulsão
Eletrônica
Sistemas Espaciais
Materiais
Química
Integração e Ensaios

Fonte: SALGADO (2016)

As tecnologias críticas levantadas por SALGADO (2016) são identificadas nas Tabelas 4.3 a 4.8, sendo a priorização feita por áreas, respectivamente, nas áreas de Propulsão, Eletrônica, Sistemas Espaciais, Materiais, Química e Integração e Ensaios. Na área de Propulsão, por exemplo, foram identificadas 9 tecnologias críticas que foram priorizadas de forma decrescente e atribuídas a nomenclatura de, respectivamente, P1, P2, P3, ... , P9; onde a letra P corresponde à primeira letra da área Propulsão e a numeração seguinte à ordem de prioridade em grau decrescente. A mesma nomenclatura foi aplicada às demais áreas.

Tabela 4.3 – Tecnologias críticas priorizadas na área de Propulsão

Prioridade	Tecnologia Crítica	Prioridade	Tecnologia
P1	Turbo-bomba	**P6**	Junta flexível para tubeira móvel
P2	Estágio propulsivo líquido	**P7**	Projeto do sistema de controle de rolamento
P3	Câmara de combustão	**P8**	Projeto de sistema de tubeira
P4	Garganta de tubeira em C-C	**P9**	Vasos de pressão bobinados
P5	Propulsor bobinado de grande porte		

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 4.4 – Tecnologias críticas priorizadas na área de Eletrônica

Prioridade	Tecnologia Crítica	Prioridade	Tecnologia
E1	Computador de bordo	**E8**	Especificação, desenvolvimento e qualificação de software espacial
E2	Análise de segurança de sistemas espaciais	**E9**	Terminação de voo
E3	Equipamentos eletrônicos de interface com atuadores e sensores	**E10**	Banco de controle
E4	Transponder de alta frequência	**E11**	Telemetria
E5	Placa eletrônica multifunção	**E12**	Qualificação de componentes
E6	Meios de interconexão de bordo	**E13**	Antena transponder
E7	Especificação, desenvolvimento e qualificação de FPGA e microprocessadores		

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 4.5 – Tecnologias críticas priorizadas na área de Sistemas Espaciais

Prioridade	Tecnologia Crítica	Prioridade	Tecnologia
S1	Sistemas inerciais	**S6**	Cálculo de cargas de voo
S2	Guiamento e controle de veículos espaciais	**S7**	Aerodinâmica experimental
S3	Aeroacústica	**S8**	Desenvolvimento de simulador de trajetória
S4	Pesquisa de dinâmica de curto período	**S9**	Cálculo térmico de reentrada
S5	Cálculo de término de voo ascendente	**S10**	Dinâmica dos fluídos computacionais

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 4.6 – Tecnologias críticas priorizadas na área de Materiais

Prioridade	Tecnologia Crítica	Prioridade	Tecnologia
M1	Compósitos termoestruturais	**M2**	Materiais cerâmicos

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 4.7 – Tecnologias críticas priorizadas na área de Química

Prioridade	Tecnologia Crítica	Prioridade	Tecnologia
Q1	ADN (Dinitramida de amônio)	**Q4**	Proteções térmicas rígidas e flexíveis
Q2	Novos agentes de ligação	**Q5**	Borracha EPDM
Q3	Carregamento de motores a propelente sólido		

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 4.8 – Tecnologias críticas priorizadas na área de Integração e Ensaios

Prioridade	Tecnologia Crítica	Prioridade	Tecnologia
IE1	Ensaios ambientais de vibração	**IE4**	Ensaios ambientais termovácuo
IE2	Ensaios de queima de motores a propelente sólido	**IE5**	Ensaios ambientais de temperatura e humidade
IE3	Ensaios ambientais EMI/EMC		

Fonte: SALGADO (2016)

As tecnologias identificadas nas Tabelas 4.3 a 4.8, por ordem de prioridade, visam atender aos projetos em andamento referentes a veículos suborbitais, ao Projeto VLM-1 e ao futuro da área de espaço do IAE representado pelo Programa VL-X (Figura 3.5).

5 IDENTIFICAÇÃO DOS RECURSOS HUMANOS E FINANCEIROS

O objetivo deste capítulo é o de identificar as correspondentes necessidades de Recursos Humanos e financeiros que levem à consecução das tecnologias críticas a serem dominadas, apresentadas no capítulo 4, para o desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites nacional. Neste contexto, conforme já ressaltado neste trabalho, cabe ao Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) a missão de prover o Programa Espacial Brasileiro (PEB) com veículos de acesso ao espaço, conforme previsto no Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE).

O domínio das tecnologias críticas que permitam o País desenvolver um veículo lançador de satélites, em especial um veículo lançador de microssatélites, deve passar pelo correto e oportuno investimento financeiro que possibilite a viabilidade dos projetos e dos programas do IAE.

O próprio PNAE (2012-2021) estabelece duas fases onde prevê a conclusão de projetos já existentes (fase 1) antes de iniciar outros projetos (fase 2), o Veículo Lançador de Microssatélites (VLM-1) se insere na fase 1 e o Programa VL-X na fase 2, a saber:

> “O novo PNAE será implementado em duas fases, continuas e complementares. A primeira é de consolidação. Nela, devemos concluir projetos já iniciados no passado e iniciar outros, de modo a ampliar e consolidar um conjunto de ações destinadas a elevar a capacitação industrial, o domínio tecnológico, o desenvolvimento de competências e a regulação das atividades espaciais, o que criará melhores condições para garantirmos maior sustentabilidade ao programa.
> A segunda fase é de expansão. Nela, deveremos lançar e desenvolver

> novos projetos, de maior complexidade tecnológica e de alto valor estratégico, impondo ao programa desafios inéditos. À época, certamente contaremos com empresas integradoras consolidadas, cadeia produtiva mais estruturada, acesso ao espaço conquistado, amplo domínio tecnológico e uma equipe bem maior de especialistas formados. Para concretizar todas as propostas previstas neste PNAE, que cobre nada menos de dez anos, precisamos dispor de recursos da ordem de R$ 9,1 bilhões, sendo 47 % destinados aos projetos de missões satelitais, 17% para projetos de acesso ao espaço, 26% para a infraestrutura espacial e 10% para outros projetos especiais e complementares."

A previsão orçamentária da Agência Espacial Brasileira (AEB) relativa aos 17% do total de recursos financeiros destinados aos projetos de acesso ao espaço (veículos lançadores) é apresentada na Tabela 5.1.

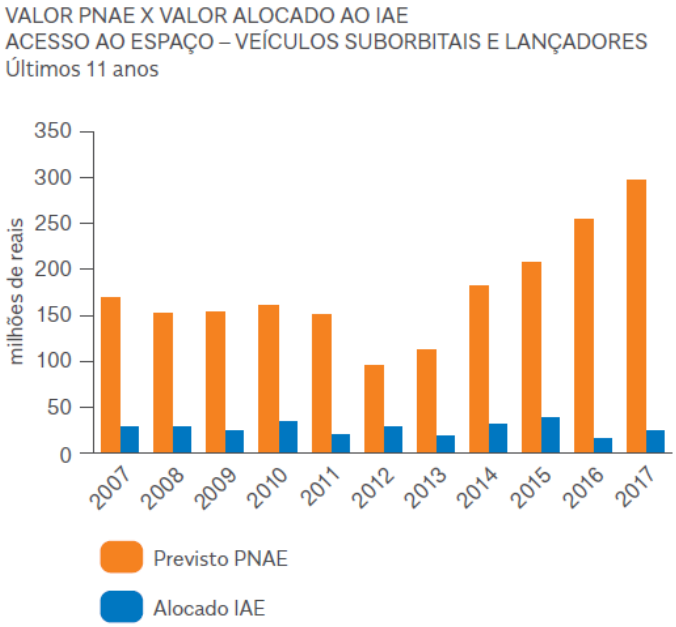
Tabela 5.1 – Programação dos investimentos da AEB (milhões de reais)

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
ACESSO AO ESPAÇO		94,2	112,4	179,6	206,7	252,2	294,2	180,2	139,2	110,2	9,2	1578,1
Fase de Consolidação	Foguetes Suborbitais	19,2	19,2	30,2	9,2	20,2	9,2	20,2	9,2	20,2	9,2	166,0
	Veículo Lançador VLS-1	62,5	45,7	35,4	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	155,1
	Veículo Lançador VLM-1	10,0	25,0	25,0	20,0	20,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,0
Fase de Expansão	Veículo Lançador VLS Alfa	2,0	19,0	33,0	98,0	130,0	120,0	40,0	0,0	0,0	0,0	442,0
	Veículo Lançador VLS Beta	0,5	3,5	56,0	68,0	82,0	150,0	120,0	130,0	90,0	0,0	700,0

Fonte: PNAE (2012-2021)

O PNAE (2012-2021) também se propõe a "fomentar a formação e capacitação de especialistas necessários ao setor espacial brasileiro, tanto no país quanto no exterior" e a "atender às necessidades e demandas do país para a área espacial, dentro dos prazos e custos acertados". No contexto do IAE, verifica-se que a Agência Espacial Brasileira, responsável pela elaboração do PNAE, vem atendendo, de forma satisfatória, as demandas de capacitação do Instituto, dentro do seu escopo de atuação. O mesmo já não se pode afirmar em relação às demandas por recursos financeiros para o desenvolvimento de veículos de acesso ao espaço, conforme apresentado na Figura 5.1.

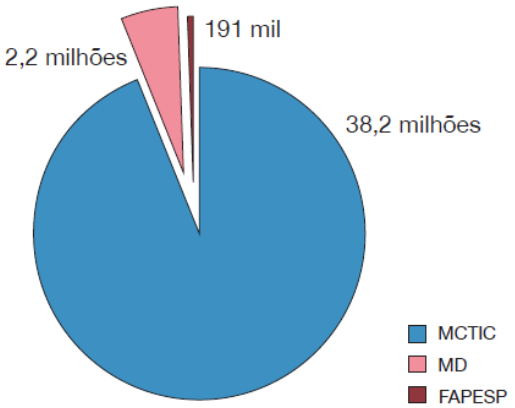
Figura 5.1 – Evolução dos recursos financeiros no IAE (2007-2017)



Fonte: Consulta feita à base de dados da VDIR-GP do IAE, em 31/05/2018.

Em relação ao ano de 2018, estava previsto o recebimento de recursos financeiros na ordem de R$ 180.200.000,00 (Tabela 5.1), embora o montante recebido tenha sido de R$ 38.200.000,00, por repasses do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), através da AEB, conforme ilustra a Figura 5.2, ou seja, apenas 22% do montante previsto no PNAE (2012-2021).

Figura 5.2 – Recursos financeiros recebidos pelo IAE em 2018

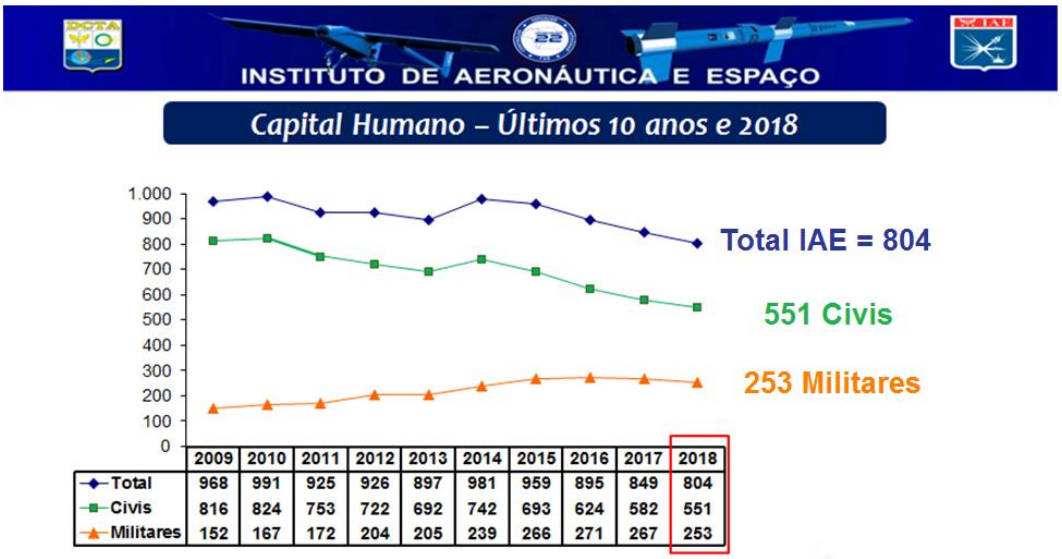


Fonte: OTERO (2018a)

Em relação aos Recursos Humanos disponíveis no IAE para desenvolver os projetos de veículos lançadores e suas respectivas tecnologias críticas, a situação assemelha-se ao quadro de disponibilidade de recursos financeiros. A Figura 5.3 ilustra a evolução do RH do IAE, no período de 2009 a 2018. Conforme apresentado

na Figura 5.3, o efetivo de Servidores Civis vem se reduzindo de forma sistemática, enquanto que o efetivo de Militares vem aumentando, com tendência de queda a partir de 2016.

Figura 5.3 – Evolução do RH no IAE (2009-2018)

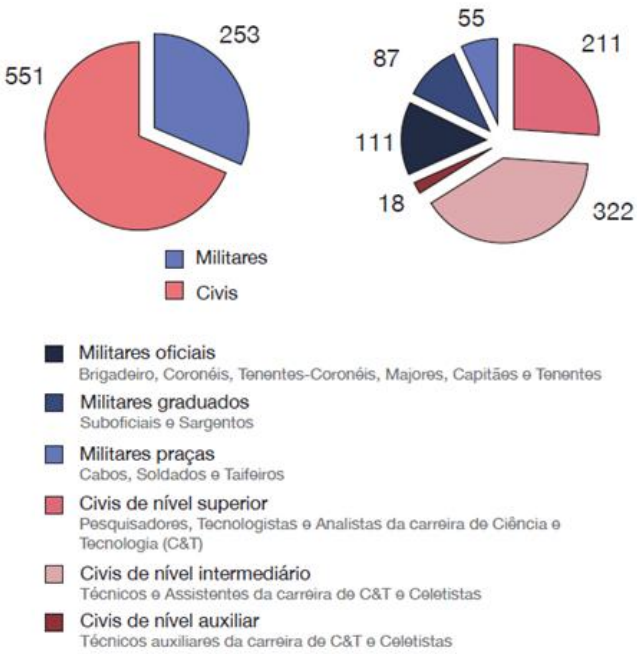


	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Total	968	991	925	926	897	981	959	895	849	804
Civis	816	824	753	722	692	742	693	624	582	551
Militares	152	167	172	204	205	239	266	271	267	253

Fonte: OTERO (2018a)

A Figura 5.4 apresenta a distribuição do efetivo do IAE entre Servidores Civis e Militares, respectivamente, por níveis de qualificação e por patente/graduação.

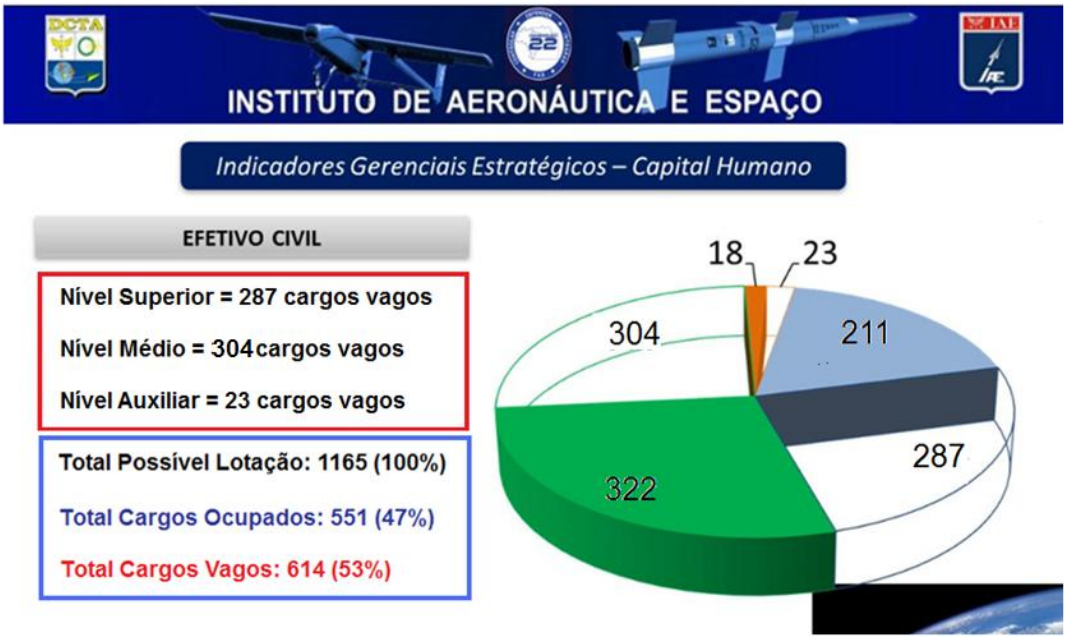
Figura 5.4 – Divisão do efetivo do IAE ao final do ano de 2018



Fonte: RA-IAE (2018)

A Figura 5.5 apresenta os cargos vagos dos Servidores Civis no IAE, em 2018, em relação à lotação de RH total prevista em Lei.

Figura 5.5 – Cargos vagos de Servidores Civis no IAE em 2018



Fonte: Consulta à base de dados da VDIR-GP do IAE em dezembro de 2018

Uma vez apresentada a situação geral do IAE no que tange à evolução dos Recursos Humanos e financeiros nos anos recentes, conforme apresentado na Tabela 5.1 e nas Figuras 5.1 a 5.5, deve-se identificar as necessidades específicas de Recursos Humanos especializados e de recursos financeiros correspondentes para a consecução de cada tecnologia crítica identificadas no capítulo 4 (Tabelas 4.3 a 4.8), no âmbito do IAE. O resultado é apresentado nas Tabelas 5.2 a 5.7, a saber:

Tabela 5.2 – Necessidade de recursos financeiros e RH para Propulsão

Prioridade	Tecnologia Crítica	US$ (x1.000)	Necessidade de RH complementar	Prazo de desenvolvimento
P1	Turbo-bomba	>10.000	30	acima 5 anos
P2	Estágio propulsivo líquido	>10.000	5	acima 5 anos
P3	Câmara de combustão	>10.000	20	acima 5 anos
P4	Garganta de tubeira em C-C	5.000 a 10.000	4	até 5 anos
P5	Propulsor bobinado de grande porte	5.000 a 10.000	6	até 5 anos

P6	Junta flexível para tubeira móvel	1.000	0	até 5 anos
P7	Projeto do sistema de controle de rolamento	1.000 a 5.000	50	acima 5 anos
P8	Projeto de sistema de tubeira	1.000	10	até 5 anos
P9	Vasos de pressão bobinados	1.000 a 5.000	20	até 5 anos

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 5.3 – Necessidade de recursos financeiros e RH para Eletrônica

Prioridade	Tecnologia Crítica	US$ (x1.000)	Necessidade de RH complementar	Prazo de desenvolvimento
E1	Computador de bordo	5.000 a 10.000	2	acima de 5 anos
E2	Análise de segurança de sistemas espaciais	1.000	4	acima de 5 anos
E3	Equipamentos eletrônicos de interface com atuadores e sensores	1.000	4	acima de 5 anos
E4	Transponder de alta frequência	1.000	2	acima de 5 anos
E5	Placa eletrônica multifunção	1.000	4	acima de 5 anos
E6	Meios de interconexão de bordo	1.000 a 5.000	4	acima de 5 anos
E7	Especificação, desenvolvimento e qualificação de FPGA e microprocessadores	1.000	4	acima de 5 anos
E8	Especificação, desenvolvimento e qualificação de software espacial	1.000	5	acima de 5 anos
E9	Terminação de voo	1.000	2	acima de 5 anos
E10	Banco de controle	20.000	5	acima de 5 anos
E11	Telemetria	1.000 a 5.000	4	acima de 5 anos
E12	Qualificação de componentes	1.000	4	acima de 5 anos
E13	Antena transponder	1.000	2	acima de 5 anos

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 5.4 – Necessidade de recursos financeiros e RH p/ Sistemas Espaciais

Prioridade	Tecnologia Crítica	US$ (x1.000)	Necessidade de RH complementar	Prazo de desenvolvimento
S1	Sistemas inerciais	1.000 a 5.000	4	até 5 anos
S2	Guiamento e controle de veículos espaciais	1.000	5	acima de 5 anos
S3	Aeroacústica	1.000 a 5.000	2	acima 5 anos
S4	Pesquisa de dinâmica de curto período	1.000	2	até 2 anos
S5	Cálculo de término de voo ascendente	1.000	3	até 5 anos
S6	Cálculo de cargas de voo	1.000	3	até 5 anos
S7	Aerodinâmica experimental	1.000	2	até 5 anos
S8	Desenvolvimento de simulador de trajetória	1.000	3	até 5 anos
S9	Cálculo térmico de reentrada	1.000 a 5.000	2	até 5 anos
S10	Dinâmica dos fluídos computacionais	1.000	4	até 5 anos

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 5.5 – Necessidade de recursos financeiros e RH para Materiais

Prioridade	Tecnologia Crítica	US$ (x1.000)	Necessidade de RH complementar	Prazo de desenvolvimento
M1	Compósitos termoestruturais	5.000 a 10.000	6	até 5 anos
M2	Materiais cerâmicos	5.000 a 10.000	6	até 5 anos

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 5.6 – Necessidade de recursos financeiros e RH para Química

Prioridade	Tecnologia Crítica	US$ (x1.000)	Necessidade de RH complementar	Prazo de desenvolvimento
Q1	ADN (Dinitramida de amônio)	1.000 a 5.000	2	acima de 5 anos
Q2	Novos agentes de ligação	1.000	2	até 5 anos
Q3	Carregamento de motores a propelente sólido	5.000 a 10.000	7	acima de 5 anos
Q4	Proteções térmicas rígidas e flexíveis	5.000 a 10.000	4	acima de 5 anos

Q5	Borracha EPDM	5.000 a 10.000	4	acima de 5 anos

Fonte: SALGADO (2016)

Tabela 5.7 – Necessidade de recursos financeiros/RH p/ Integração e Ensaios

Prioridade	Tecnologia Crítica	US$ (x1.000)	Necessidade de RH complementar	Prazo de desenvolvimento
IE1	Ensaios ambientais de vibração	5.000 a 10.000	12	até 5 anos
IE2	Ensaios de queima de motores a propelente sólido	5.000 a 10.000	16	até 5 anos
IE3	Ensaios ambientais EMI/EMC	5.000 a 10.000	4	acima de 5 anos
IE4	Ensaios ambientais termovácuo	5.000 a 10.000	4	acima de 5 anos
IE5	Ensaios ambientais de temperatura e humidade	5.000 a 10.000	2	até 5 anos

Fonte: SALGADO (2016)

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme estabelecido na Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), o Programa Espacial Brasileiro (PEB) prevê o lançamento de um satélite nacional, lançado por um veículo lançador nacional e de um centro de lançamento situado em território brasileiro. Neste contexto, pode-se afirmar que a MECB foi parcialmente cumprida, haja vista que o seguimento “veículo de acesso ao espaço”, comumente denominado por “veículo lançador” ou por “veículo lançador de satélites”, ainda não foi totalmente desenvolvido. Por essa razão, o presente trabalho se propôs a abordar o tema relativo ao desenvolvimento de veículos lançadores de satélites, mais especificamente, ao desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites (VLM-1), no âmbito do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE).

Para abordar o tema proposto, estabeleceu-se como objetivo principal a investigação dos pontos fracos que devem ser enfrentados para a consecução do desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites, no contexto do PEB. Como objetivos intermediários estabeleceu-se identificar as tecnologias críticas a serem dominadas, as respectivas necessidades de Recursos Humanos e os recursos financeiros associados ao domínio dessas tecnologias. A identificação das tecnologias críticas necessárias, dos Recursos Humanos e dos recursos financeiros

foi apresentada, respectivamente, nos Capítulos 4 e 5. No presente capítulo cabe analisar e comentar as informações identificadas nos capítulos anteriores à luz dos objetivos intermediários para responder o objetivo principal e o “problema” do presente trabalho, dentro do escopo de pesquisa proposto.

Em relação ao domínio das tecnologias críticas que permitam a consecução do desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites nacional, verifica-se pelas Tabelas 4.3 a 4.8, que as grandes áreas do conhecimento que necessitam de especial atenção, no âmbito do IAE, são as de Propulsão, de Eletrônica, de Sistemas Espaciais, de Materiais, de Química e de Integração e Ensaios.

Ao todo, foram identificadas 44 tecnologias críticas que devem ser dominadas sendo 09 de Propulsão, 13 de Eletrônica, 10 de Sistemas Espaciais, 02 de Materiais, 05 de Química e 05 de Integração e Ensaios. Verifica-se, ainda, que todas essas tecnologias foram priorizadas em suas respectivas áreas de conhecimento, priorização esta que se torna um importante elemento balizador para a tomada de decisões do agente Diretor do IAE.

Dentre as grandes áreas do conhecimento que necessitam de especial atenção, a área de Propulsão é a mais crítica, na opinião do presente autor. Até a data atual, todos os veículos espaciais produzidos pelo Instituto utilizaram propulsão sólida, fato que limita o alcance desses veículos a órbitas baixas, próprio para satélites de sensoriamento remoto, porém, limitador do alcance preciso de uma órbita alta como a geoestacionária, aonde se quer chegar com os satélites de comunicação. Para alcançar as órbitas geoestacionárias é preciso o domínio das tecnologias de propulsão líquida, refletido na prioridade da Tabela 4.3 como prioridades 01 e 02 (P1 e P2, respectivamente). Essas tecnologias estão em estágios intermediários de desenvolvimento no IAE, através do Projeto Turbo-Bomba, em parceria com a empresa nacional TGM Turbinas, e do Projeto Motor L-75, em parceria com o centro espacial alemão DLR.

Um resultado a ser ressaltado é o de “conceitos chaves” mais citados por Servidores Civis e Militares do IAE, apresentados na Tabela 4.1 da maior para a menor freqüência de citação. A Tabela 4.1 identifica como o mais importante conceito chave “dominar tecnologias críticas”, seguidos de “aumentar capital humano”; “envolver as indústrias desde o início no projeto”; “possuir apoio efetivo do governo”; “formar um grupo no IAE para disseminar conhecimento”; “atender a tendência de redução de satélites”; “formar massa crítica de alto nível”; e “realizar parcerias e

transferências de tecnologias". Todos estes conceitos chaves são fundamentais para a continuidade do Programa Espacial Brasileiro e se alinham, em grande parte, ao estabelecido pelo PNAE (2012-2021) onde se "considera estratégico o domínio das tecnologias críticas e de acesso restrito, com participação da indústria nacional, junto à competência das universidades e dos institutos de pesquisa nacionais".

Não obstante a participação da indústria nacional, juntamente com as universidades e institutos de pesquisa na consecução do domínio de tecnologias críticas da área espacial, deve-se exaltar a necessidade do estabelecimento de parcerias internacionais que tenham o objetivo de mitigar as dificuldades em dominar tais tecnologias. A cooperação internacional une esforços em torno de um objetivo comum de interesse mútuo, maximiza investimentos de toda ordem, minimiza riscos, potencializa projetos, impulsiona novos mercados, dinamiza as indústrias locais e encurta o prazo de obtenção de resultados. Neste sentido, o IAE desenvolve uma parceria com o centro espacial alemão DLR junto ao Projeto Veículo Lançador de Microssatélites (VLM-1). De forma esquemática, a divisão de trabalhos da parceria IAE/DLR é apresentada na Figura 3.10. O conteúdo técnico detalhado e a divisão de trabalhos dessa parceria são de acesso restrito e não sendo objeto de apresentação no presente trabalho.

Cabe ressaltar que o domínio das tecnologias críticas identificadas no Capítulo 4 levarão à consecução do desenvolvimento do VLM-1 e, consequentemente, à consecução do desenvolvimento do Programa VL-X por serem de uso comum aos veículos de acesso ao espaço VLM-1, Áquila-1 e Áquila-2 (Figura 3.5). As linhas mestras a serem observadas para o desenvolvimento do Projeto VLM-1 e para o desenvolvimento do Programa VL-X, de acordo com o RT/GT-6 e em conformidade com a AEB (2019), são resumidas pelo autor a seguir: a) estratégia de desenvolvimento com a participação de parceiros internacionais, com uma estratégia para mitigação de riscos; b) desenvolvimento incremental com a desejável manutenção de parceiros; c) parceria industrial para o desenvolvimento do Projeto VLM-1 e do Programa VL-X em todas as suas fases (concepção, fabricação, testes e operação); d) prioridade à aquisição de insumos e subsistemas nacionais; e) gerar um produto competitivo que possibilite sustentabilidade para a base industrial nacional; e f) manter um repositório do conhecimento gerado em instituição pública perene, não permitindo a perda desses conhecimentos.

Em relação à necessidade de recursos financeiros para o domínio das tecnologias críticas apresentadas no Capítulo 4, verifica-se na Tabela 5.1 a previsão de recursos estabelecidos no PNAE, no período de 2012 a 2021, destinados aos projetos de veículos lançadores do IAE. Os recursos financeiros são oriundos do Programa Temático 2056 – Política Espacial, do Plano Plurianual (PPA) do Governo Federal, sendo a executora orçamentária o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), através da AEB.

Conforme se verifica na Figura 5.1, o montante de recurso financeiro alocado versus o previsto por ano dificilmente tem sido superior a 20% do necessário. De fato, de 2007 até 2017 os valores alocados são tipicamente inferiores a 20%. Em 2017, os recursos financeiros alocados pelo PNAE (2012-2021) foram inferiores a 10% do previsto; e em 2018, conforme Figura 5.2, totalizaram 22% do previsto. Há, portanto, uma clara insuficiência de recursos financeiros para cumprir um planejamento de desenvolvimento de veículos de acesso ao espaço que, em última instância, se torna inexequível dentro dos prazos propostos. A consequência direta da insuficiência de investimentos, ao longo dos últimos anos, é o comprometimento do cronograma de desenvolvimento do Projeto VLM-1 e do Programa VL-X, conforme ilustrado esquematicamente na Figura 3.5. No entendimento do autor, fica clara a necessidade de atualização do PNAE (2012-2021) para uma condição realista, concentrando os parcos recursos financeiros em um único projeto mobilizador, no caso o Projeto VLM-1, como forma de desenvolvimento incremental para a futura consecução do Programa VL-X.

As Tabelas 5.2 a 5.7 apresentam as necessidades de recursos financeiros, por ordem de prioridade, por grande área do conhecimento, para o desenvolvimento de cada tecnologia crítica necessária à consecução do Projeto VLM-1. Dessas Tabelas pode-se verificar que o montante mínimo necessário de recursos financeiros para Propulsão é de US$ 44 milhões, para Eletrônica é de US$ 36 milhões, para Sistemas Espaciais é de US$ 10 milhões, para Materiais é de US$ 10 milhões, para Química é de US$ 17 milhões e para Integração e Ensaios é de US$ 25 milhões; perfazendo um montante total mínimo de US$ 142 milhões. Das 44 tecnologias críticas enumeradas, 19 podem ser desenvolvidas em um prazo inferior a 5 anos; e 25 tecnologias críticas em prazos que excedem a 5 anos.

Ressalta-se que o investimento de US$ 142 milhões é o batente inferior necessário para o desenvolvimento das tecnologias críticas apontadas nas Tabelas

5.2 a 5.7; e que 4 tecnologias críticas necessitam de investimentos superiores a US$ 10 milhões, 13 necessitam investimento entre US$ 5 milhões a US$ 10 milhões, 8 necessitam investimento entre US$ 1 milhões a US$ 5 milhões e 19 necessitam investimento na ordem de US$ 1 milhão. Desta forma, considerando-se os batentes superiores de investimento, os recursos financeiros necessários apontados nas Tabelas supracitadas podem ser superiores a US$ 239 milhões.

Em relação aos Recursos Humanos especializados existentes no IAE, em dezembro de 2018, disponíveis para o desenvolvimento de veículos de acesso ao espaço e respectivas tecnologias críticas, a Figura 5.3 ilustra que o efetivo total do Instituto era de 804 servidores, sendo 69% composto por Servidores Federais Estatutários (Servidores Civis) e 31% por Militares de carreira, temporários e da reserva, contratados para a Prestação de Tarefa por Tempo Certo (RA/IAE, 2018). Verifica-se, também, uma sistemática redução do efetivo de Servidores Civis, entre 2009 e 2018. Neste período, houve uma redução de 265 de Servidores representando uma perda de, aproximadamente, 33% desse RH. No caso dos Militares, houve um aumento do efetivo em 101 homens, totalizando um incremento de 66% desse RH. Contudo, entre 2009 a 2018, observa-se que o efetivo total do IAE foi reduzido de 968 para 804 Servidores, representando uma redução total do RH em 17%. Outro fato que chama a atenção é a tendência de queda que vem se configurando, no recente período de 2016 a 2018, quanto ao ingresso de Militares no nos quadros de pessoal do Instituto.

Dentre o RH especializado existente no IAE, a mola propulsora para o desenvolvimento de veículos lançadores é composta por servidores civis de nível superior (carreiras de tecnologistas e de pesquisadores) e por Oficiais da ativa, em especial os do quadro de engenharia. A Figura 5.4 ilustra a divisão do efetivo do Instituto no tocante aos diversos níveis de Servidores Civis e por patente/graduação dos Militares. Pode-se observar que a soma do efetivo de Servidores Civis de nível superior e de Oficiais representa apenas 40% do efetivo total do IAE.

Em relação à Figura 5.5, verifica-se a existência de 53% de cargos vagos de Servidores Civis no âmbito do IAE, em 2018. Se considerarmos somente os cargos vagos de Servidores Civis de nível superior, esse número chega a 287 vagas. Segundo o PNAE (2012-2021), este elevado número de vacâncias é resultado, basicamente, da não realização de concursos públicos para a recomposição dos Servidores Civis que se aposentam, uma vez que o percentual de vacâncias

oriundas por demissão espontânea do Serviço Público Federal é inferior a 5% do total de vagas.

As Tabelas 5.2 a 5.7 apresentam as necessidades de Recursos Humanos especializados, por ordem de prioridade, por grande área do conhecimento, para o desenvolvimento de cada tecnologia crítica necessária à consecução do Projeto VLM-1. Dessas Tabelas pode-se verificar que a quantidade necessária de RH, por grande área de conhecimento, para Propulsão é de 145 Servidores Civis e/ou Militares, para Eletrônica é de 46 Servidores Civis e/ou Militares, para Sistemas Espaciais é de 30 Servidores Civis e/ou Militares, para Materiais é de 12 Servidores Civis e/ou Militares, para Química é de 19 Servidores Civis e/ou Militares e para Integração e Ensaios é de 38 Servidores Civis e/ou Militares; perfazendo um montante total de 290 Servidores Civis e/ou Militares.

Diante dos números identificados em relação à necessidade de RH especializado (Capítulo 5) para o desenvolvimento das tecnologias críticas elencadas no Capítulo 4, e verificando-se a quantidade de vagas não preenchidas, previstas em Lei, conforme Figura 5.5, constata-se que a realização de concurso público, no âmbito do IAE, poderia prover a contratação de 614 Servidores Civis. Desses Servidores, pode-se observar que somente os de nível superior montam em 287 vagas ao total. Considerando-se que a necessidade de RH especializado para a consecução do Projeto VLM-1 é de 290 Servidores Civis e/ou Militares, pode-se afirmar que a ausência de concurso público é o maior óbice para a consecução dos esforços de desenvolvimento de veículos lançadores no País em relação à politica de RH para a área de espaço.

7 CONCLUSÕES

A atividade espacial tem sido um grande indutor da ciência e da economia em todos os países que a exploram comercialmente, propicia avanços tecnológicos de caráter dual, gera o transbordamento das tecnologias desenvolvidas para diferentes setores da economia, beneficia a indústria local através da manufatura de produtos de alto valor agregado, fortalece todas as expressões do Poder Nacional e engrandece a sociedade gerando riquezas, serviços e produtos que aumentam a qualidade de vida.

Atualmente, existe uma oportunidade global que demanda veículos lançadores de pequeno porte devido ao crescimento do mercado de cargas pagas espaciais na faixa de 50 kg a 200 kg. Neste contexto, insere-se o Projeto do Veículo Lançador de Microssatélites (VLM-1) que se encontra em fase de desenvolvimento no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), em parceria com a empresa Avibras e com o centro espacial alemão *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR), através de apoio financeiro da Agência Espacial Brasileira (AEB).

Visando a consecução do Projeto VLM-1, o presente trabalho investigou os pontos fracos que devem ser enfrentados no tocante ao domínio de tecnologias críticas, na área de veículos de acesso ao espaço, bem como suas respectivas necessidades de Recursos Humanos e de recursos financeiros, no âmbito do IAE.

A análise dos resultados identificou que o IAE necessita dominar um total de 44 tecnologias críticas, sendo 09 na área de Propulsão, 13 na área de Eletrônica, 10 na área de Sistemas Espaciais, 02 na área de Materiais, 05 na área de Química e 05 na área de Integração e Ensaios. Cada uma dessas tecnologias foi priorizada, em suas respectivas áreas do conhecimento, a fim de possibilitar a tomada de decisões por parte do agente Diretor.

Em relação à necessidade de recursos financeiros necessários à consecução das tecnologias críticas supracitadas, identificou-se uma necessidade mínima de investimentos na ordem de US$ 142 milhões (dólares americanos). Contudo, verificou-se que o histórico de investimentos financeiros destinados ao desenvolvimento de veículos lançadores, no âmbito do IAE nos últimos 12 anos, tem-se mantido, tipicamente, com valores aportados inferiores a 20% do montante total planejado por ano. Como consequência dessa constatação, sugere-se a necessidade de revisão do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), vigente no período de 2012 a 2021, de forma a racionalizar os projetos espaciais em vigor, focando em um único projeto mobilizador: o Projeto VLM-1.

Em relação às necessidades de Recursos Humanos necessários à consecução das tecnologias críticas supracitadas, identificou-se que a quantidade necessária de RH para a área de Propulsão é de 145 Servidores Civis e/ou Militares, para a área de Eletrônica é de 46 Servidores Civis e/ou Militares, para a área de Sistemas Espaciais é de 30 Servidores Civis e/ou Militares, para a área de Materiais é de 12 Servidores Civis e/ou Militares, para a área de Química é de 19 Servidores Civis e/ou Militares e para a área de Integração e Ensaios é de 38 Servidores Civis

e/ou Militares; perfazendo um montante total de 290 Servidores Civis e/ou Militares deficitários nos quadros do IAE. Constatou-se, porém, que a realização de concurso público, no âmbito do Instituto, poderia prover a contratação de 614 Servidores Civis em vagas já previstas em Lei e não preenchidas. Desses Servidores, pôde-se observar que somente os de nível superior montam em 287 vagas ao total. Considerando-se que a necessidade de RH especializado para a consecução do Projeto VLM-1 é de 290 Servidores Civis e/ou Militares, pode-se afirmar que a ausência de concurso público é o maior óbice para a consecução dos esforços de desenvolvimento de veículos lançadores no País em relação à politica de RH para a área de espaço.

Portanto, para que o Brasil seja um país soberano no domínio da área espacial, o Programa Espacial Brasileiro (PEB) deve se tornar uma prioridade para o atual governo e para aqueles que o sucederem, ou seja, deve se tornar um Programa de Estado que não sofra alterações ao bel das mudanças oriundas das alternâncias de Governo.

Finalmente, em resposta à “pergunta problema” inicialmente estabelecida e ao cumprimento do “objetivo principal” deste trabalho, as tecnologias críticas identificadas por ordem de prioridade, e suas respectivas necessidades de Recursos Humanos e de recursos financeiros, são os “gargalos” e/ou os “pontos fracos” a serem enfrentados, no âmbito do IAE, para o desenvolvimento de um veículo lançador de microssatélites nacional, no contexto do Programa Espacial Brasileiro.

REFERÊNCIAS

_____. **Agência Espacial Brasileira (AEB)**. Disponível em <http://www.aeb.gov.br/institucional/sobre-a-aeb/>. Acesso em: 25 jun. 2019.

AGUIAR, Luiz Fernando de. **Brasil: um grande desafio – O Programa de Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE)**. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA). São José dos Campos-SP, 2018.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 29 mar. 2019.

_____.**Estratégia Nacional de Defesa (2016b)**. Versão sob apreciação do Congresso Nacional (Lei Complementar 97/1999, art. 9º, § 3º). Disponível em: <http://www.defesa.gov.br/arquivos/2017/mes03/pnd_end.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.

HIRASAWA, Paulo Junzo. **Programa Espacial Brasileiro: novo alento com a criação do Comitê de Desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro (CDPEB)?** Escola Superior de Guerra**.** Rio de Janeiro, 2018.

LUCCA, Eduardo Viegas Dalle. **Programa Espacial Brasileiro: estágio de desenvolvimento dos projetos mobilizadores e estruturantes estabelecidos no Programa Nacional de Atividades Espaciais**. Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro, 2016.

OTERO, Augusto Luiz de Castro. **Palestra ao Efetivo do Instituto de Aeronáutica e Espaço, no auditório Lacaz Neto, sobre as realizações do ano de 2018.** Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA). São José dos Campos-SP, 2018a.

OTERO, Augusto Luiz de Castro. **VLM-1: Veículo Lançador de Microssatélites – Projeto Brasileiro de Acesso ao Espaço.** Instituto de Aeronáutica e Espaço. São José dos Campos-SP, 2018b.

PANTOJA, F. C. M.; KASEMODEL, C. A. M. **Os desafios e a estratégia brasileira de acesso ao espaço.** Desafios do Programa Espacial Brasileiro / Secretaria de Assuntos Estratégicos. Brasília: SAE, 2011.

_____.**Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018-2027**. Disponível em: <http://www.fab.mil.br/Download/arquivos/pemaer.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2019.

_____.**Programa Nacional de Atividades Espaciais 2012-2021 (PNAE)**. Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2013/03/PNAE-Portugues.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2019.

_____.**Política Nacional de Defesa (2016a)**. Versão sob apreciação do Congresso

Nacional (Lei Complementar 97/1999, art. 9º, § 3º). Disponível em: <http://www.defesa.gov.br/arquivos/2017/mes03/pnd_end.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.

_____.**RA/IAE-2016/2017: Relatório de Atividades 2016-2017 do Instituto de Aeronáutica e Espaço**.<http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2019/04/Relat%C3%B3rio-de-Gest%C3%A3o-2018_AEB.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2019.

_____.**RA/IAE-2018: Relatório de Atividades 2018 do Instituto de Aeronáutica e Espaço**.<http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2019/04/Relat%C3%B3rio-de-Gest%C3%A3o-2018_AEB.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2019.

_____.**Relatório de Gestão 2018 da Agência Espacial Brasileira.** Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2019/04/Relat%C3%B3rio-de-Gest%C3%A3o-2018_AEB.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2019.

_____.**Regimento Interno do Instituto de Aeronáutica e Espaço 2016 (RICA 21-93)**. Aprovada pela Portaria DCTA Nº 50/DNO, de 22 de fevereiro de 2017.

_____.**RT/GT-06: Relatório Final do Grupo Técnico 6 sobre o VL-X**. Comitê de Desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro (CDPEB). Gabinete de Segurança Institucional. Brasília, 2018.

SALGADO, Maria Cristina Vilela. **Estudo sobre Tecnologias Críticas de Veículos Espaciais Aplicados ao Instituto de Aeronáutica e Espaço.** Tese de Doutorado - Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área de Produção - Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2016.

SANTANA JUNIOR, Avandelino. **Programa Espacial Brasileiro: Importância de desenvolvimento de suas tecnologias para o Brasil**. Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro, 2015.